

Spinner GmbH
Elektrotechnische Fabrik

5

Koaxialleitung mit Zwangskühlung

Die Erfindung betrifft eine Koaxialleitung mit einem rohrförmigen Innenleiter, einem Außenleiter, Isolierstoffstützen zwischen dem Innenleiter und dem Außenleiter und Anschlüssen zum Hindurchleiten eines Kühlmediums durch die Leitung.

Bestimmte Anwendungen, z.B. auf dem Gebiet der Plasmaphysik, erfordern die Einspeisung von HF-Leistungen von mehr als 1MW mittels Koaxialleitungen, deren Durchmesser aus mechanischen und/oder HF-technischen Gründen nicht beliebig groß gemacht werden kann. Insbesondere im Dauerstrichbetrieb entsteht deshalb am Innenleiter vor allem infolge Ohm'scher Verluste und im Bereich der Isolierstützen vor allem infolge dielektrischer Verluste eine so große Wärmemenge je Zeiteinheit, dass eine Zwangskühlung notwendig ist. Nach dem Stand der Technik wird zur Zwangskühlung ein gasförmiges Medium durch den Ringraum zwischen dem Innenleiter und dem Außenleiter hindurchgeleitet. Die auf diese Weise abführbare Verlustwärmemenge ist jedoch begrenzt, zumal sich der Druck und damit die Strömungsgeschwindigkeit des gasförmigen Kühlmediums aus mehreren Gründen nicht beliebig erhöhen lässt. Zur Kühlung von supraleitenden Koaxialkabeln wurde auch schon flüssiges Helium benutzt, wofür jedoch umfangreiche und kostspielige Nebeneinrichtungen notwendig sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Koaxialleitung mit verbesserter Kühlmöglichkeit zu schaffen.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Kühlmedium durch den Innenleiter hindurchleitbar ist.

5 Infolgedessen können über die Leitung bei gegebenem Leitungsdurchmesser sowohl im Puls- als auch im Dauerstrichbetrieb erheblich höhere HF-Leistungen als bisher übertragen werden, dies insbesondere bei Benutzung eines flüssigen Kühlmediums.

10 Die Kühlung des thermisch wesentlich geringer belasteten Außenleiters ist nicht Gegenstand der Erfindung. Sie kann mittels auf dem Außenleiter angebrachter Kühlrippen, Kühlschlangen oder ähnlichen an sich bekannten Maßnahmen erfolgen.

15 Bevorzugt ist das Kühlmedium über in mindestens einigen der Isolierstoffstützen ausgebildete Kanäle zu- und abführbar (Anspruch 2).

20 Diese Isolierstoffstützen können als durch den Außenleiter hindurch nach außen geführte Rohre ausgebildet sein (Anspruch 3). Je Radialebene genügen in der Regel drei oder vier Isolierstoffstützen, die um 120° bzw. um 90° versetzt angeordnet sind. Abhängig von dem benötigten Kühlmittel-
25 durchfluss kann es genügen, nur einen Teil dieser Isolierstoffstützen zum Zu- und Abführen des Kühlmediums zu benutzen. Durch geeignete konstruktive Ausbildung der Isolierstoffstützen ist dann sicherzustellen, dass keine zusätzlichen Verzerrungen des HF-Feldes in Umfangsrichtung entstehen.
30

Alternativ können die Isolierstoffstützen auch als Hohl-
scheiben mit radialen Kanälen ausgebildet sein (Anspruch
4), z.B. um die Leitung in längsdichte Abschnitte zu glied-
35 dern.

Bevorzugt münden die Kanäle der Isolierstoffstützen in eine Kammer in einem Innenleiterverbindungsstück am Ende des rohrförmigen Innenleiters (Anspruch 5). Das Innenleiterverbindungsstück bildet gleichzeitig das Lager für das jeweilige Ende des rohrförmigen Innenleiters.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Koaxialleitung zeichnet sich dadurch aus, dass in dem rohrförmigen Innenleiter ein an seinen beiden Enden stirnseitig verschlossenes Rohr kleineren Durchmessers coaxial angeordnet ist und dass der Ringraum zwischen diesem Rohr und dem rohrförmigen Innenleiter mit den Kanälen in den Isolierstoffstützen kommuniziert (Anspruch 6). Dann strömt das Kühlmedium lediglich durch den Ringspalt oder Ringraum zwischen dem rohrförmigen Innenleiter und dem von diesem umschlossenen und zweckmäßig ebenfalls an seinen Enden an den betreffenden Innenleiterverbindungsstücken gelagerten Rohr kleineren Durchmessers. Bei ausreichender Bemessung des Ringquerschnitts bleibt die Kühlwirkung praktisch unverändert, bei gleichzeitig erheblich geringerem Gewicht der Leitung und geringerem Aufwand für die zur Kühlmittelzirkulation erforderlichen Nebenaggregate.

Zweckmäßig ist das Rohr stirnseitig durch einen an dem Innenleiterverbindungsstück ausgebildeten Flansch verschlossen (Anspruch 7).

Stattdessen kann das Rohr stirnseitig auch über Flansche verschlossen sein, die an dem jeweiligen Innenleiterverbindungsstück axial und radial schwimmend gelagert sind (Anspruch 8). Insbesondere das Spiel in axialer Richtung vermeidet die Entstehung axialer Zwangskräfte, sei es infolge von Fertigungstoleranzen, sei es wegen unterschiedlicher wärmeabhängiger Längenänderungen des Rohrs und des diesen umschließenden, rohrförmigen Innenleiters.

Zusätzlich kann das Rohr an seinem Außenumfang sich gegen die Innenwand des rohrförmigen Innenleiters abstützende Zentrierelemente haben (Anspruch 9). Dadurch wird sichergestellt, dass der Querschnitt des Ringspalts oder Ringraums
 5 zwischen dem rohrförmigen Innenleiter und dem von ihm umschlossenen Rohr in Umfangsrichtung konstant bleibt, bzw. auch dann, wenn die Koaxialleitung insgesamt in Längsrichtung einen leichten Bogen beschreibt.

10 Die Zentrierelemente können längs einer Wendel, d.h. schraubenförmig um das Rohr angeordnet sein (Anspruch 10), bzw. auch als einzelne, voneinander beabstandete Elemente.

Stattdessen können die Zentrierelemente aus axial verlaufenden Stegen bestehen (Anspruch 11). Dies ist strömungstechnisch günstiger als die Anordnung längs einer Wendel.
 15

In allen Ausführungsformen können die Zentrierelemente mit dem Rohr einstückig sein. (Anspruch 12). Dies ist herstellungstechnisch besonders dann vorteilhaft, wenn das Rohr
 20 nicht aus Metall sondern aus Kunststoff besteht.

Alternativ kann der rohrförmige Innenleiter in seinem Mantel axiale Kanäle haben, die mit den Kanälen in den Isolierstoffstützen kommunizieren (Anspruch 13). Ein derartiger Innenleiter kann beispielsweise als Strangpressprofil aus Aluminium preiswert hergestellt werden.
 25

Bei größerer Länge besteht die Koaxialleitung aus getrennt voneinander kühlbaren, elektrisch und mechanisch miteinander verbundenen Abschnitten (Anspruch 14).
 30

In diesem Fall sind die rohrförmigen Innenleiter aneinander grenzender Abschnitte der Leitung am besten über komplementäre Steckverbindungen miteinander verbindbar (Anspruch
 35 15).

Eine solche komplementäre Steckverbindung kann aus einer die Kammer des jeweiligen Innenleiterverbindungsstücks abschließenden Flanschplatte mit einem sich axial erstreckenden ersten Ringbund bestehen, der einen zweiten Ringbund an der Flanschplatte des anschließenden Leitungsabschnitts übergreift und seinerseits von einem Kranz sich axial erstreckender Kontaktfedern kontaktierend übergriffen wird, der den zweiten Ringbund konzentrisch umgibt (Anspruch 16). Der erste Ringbund bildet gewissermaßen einen Stecker, der zweite Ringbund zusammen mit dem Kontaktfederkranz den komplementären Kuppler.

Zweckmäßig liegen die freien Enden der Kontaktfedern des Kontaktfederkranzes in einer radialen Ebene, die gegenüber der die Stirnfläche des zweiten Ringbundes enthaltenden, radialen Ebene axial zurückgesetzt ist (Anspruch 17). Dadurch wird beim Aneinandersetzen von zwei Leitungsstücken eine Vorzentrierung erreicht, bei der der erste Ringbund den zweiten Ringbund übergreift, bevor die Stirnfläche des ersten Ringbundes unter die Kontaktfedern zu liegen kommt. Dadurch wird vermieden, dass es infolge von Fluchtungsfehlern zu einer Beschädigung der Kontaktfedern und daher zu einer über den Umfang ungleichmäßigen Kontaktierung kommt, die sowohl zur Entstehung von Reflexionen und Intermodulationsprodukten führen würde als auch bei den zu übertragenden Strömen von mehreren 1000 Ampere eine Überhitzung und gegebenenfalls Verbrennung der Kontaktflächen zur Folge hätte.

Zweckmäßig sind die die kontaktierenden Ringbunde tragenden Flanschplatten mit den zugehörigen Innenleiterverbindungsstücken verschraubt (Anspruch 18). Dies erleichtert die Umrüstung der Verbindungsstellen von Stecken auf Kuppeln und umgekehrt. Des weiteren kann der Kontaktfederkranz als Einzelteil aus dem dafür am besten geeigneten Werkstoff hergestellt werden. Er wird dann an seiner Wurzel mit der

Flanschplatte verschweißt.

Da der rohrförmige Innenleiter trotz Kühlung thermisch wesentlich höher belastet ist als der Außenleiter, müssen
 5 die auftretenden Wärmedehnungen berücksichtigt werden. Hierzu können die Isolierstoffstützen in axialer Richtung schwimmend durch den Außenleiter hindurchgeführt sein (Anspruch 19).

10 Eine Möglichkeit hierfür besteht darin, dass das durch den Außenleiter hindurchgeführte Ende der Isolierstoffstütze von einem Führungsflansch umschlossen ist, der in axialer Richtung schwimmend in einer Ausnehmung des Außenleiters gehalten, gegenüber diesem radialelastisch abgedichtet und
 15 mit ihm radialelastisch kontaktiert ist (Anspruch 20). Die radialelastische Abdichtung kann mittels O-Ringen erfolgen und die radialelastische Kontaktierung kann mittels eines schraubenförmig gewickelten und ringförmig geschlossenen Kontaktelementes, einem sogenannten Wurmkontakt, realisiert
 20 werden.

Statt dessen kann auch jede der rohrförmigen Isolierstoffstützen mit ihrem innenliegenden Ende in dem Innenleiterverbindungsstück und mit ihrem außenliegenden Ende in der
 25 Außenleiterwandung in einer axialen Ebene verkipppbar gelagert sein (Anspruch 21). Die verkippbare Lagerung läßt sich z.B durch Ringwulste an den betreffenden Enden der Isolierstoffstützen in Verbindung mit kalottenförmigen Gegenlagern in den betreffenden Aufnahmen am Innenleiterverbindungs-
 30 stück und an einer Durchführung durch die Wandung des Außenleiters verwirklichen.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel einer Koaxialleitung nach der Erfindung dargestellt. Es zeigt:

35

Fig. 1 einen verkürzt dargestellten Leitungsabschnitt im

Längsschnitt;

- Fig. 2 eine teilweise im Schnitt gehaltene Stirnansicht;
- 5 Fig. 3 die zur Verbindung miteinander bestimmten Endbereiche von zwei aufeinander folgenden Leitungsabschnitten;
- 10 Fig. 4 eine Ansicht des in den Fig. 3 und 5 dargestellten Dichtungs- und Kontaktierungsringes zwischen den Verbindungsflanschen der Aussenleiter;
- Fig. 5 die gleichen Endbereiche wie in Fig. 3 nach Herstellung der Verbindung;
- 15 Fig. 6 eine teilweise im Schnitt gehaltene Seitenansicht eines als 90°-Bogen ausgeführten Leitungsabschnittes;
- 20 Fig. 7 den Endbereich eines Leitungsabschnitts im Längsschnitt mit einer alternativen Ausführung der Isolierstoffstützen;
- 25 Fig. 8 die Durchführung einer Isolierstoffstütze durch den Außenleiter, überwiegend im Schnitt und in vergrößertem Maßstab als Stirnansicht;
- 30 Fig. 9 eine andere Ausführungsform der Durchführung der Isolierstoffstütze im Längsschnitt und in vergrößertem Maßstab;
- Fig. 10 eine zu Fig. 9 alternative Ausführungsform;
- 35 Fig. 11 eine Stirnansicht einer anderen Ausführungsform des Innenleiterrohrs;

Fig. 12 einen Leitungsabschnitt ähnlich Fig. 1, jedoch in einer anderen Ausführungsform;

5 Fig. 13 einen Schnitt längs der Linie XIII-XIII in Figur 12.

Figur 1 zeigt - in Längsrichtung verkürzt - einen Abschnitt einer kühlbaren Koaxialleitung zur Übertragung sehr hoher HF-Leistungen. Die Leitung umfaßt ein Außenleiterrohr 1, das an seinen beiden Enden mit Verbindungsflanschen 2 ausgestattet ist. Der Durchmesser des Außenleiterrohrs 1 kann im Bereich von 120 mm und mehr liegen. Der Außenleiter 1 umschließt coaxial einen rohrförmigen Innenleiter 3, der an seinen beiden Enden mit Innenleiterverbindungsstücken 4 ausgestattet ist. Jedes der Innenleiterverbindungsstücke 4 ist über Isolierstoffstützen 5 aus einem geeigneten Dielektrikum, vorzugsweise einem keramischen Werkstoff, in den korrespondierenden Verbindungsflanschen 2 gelagert, bzw. in diesem Ausführungsbeispiel über je vier Isolierstoffstützen 5, wie aus Fig. 2 hervorgeht. Die Isolierstoffstützen 5 sind rohrförmig ausgebildet und durch die Verbindungsflansche 2 abgedichtet nach außen geführt. Ihre innenliegenden Enden sitzen abgedichtet (vgl. die dargestellten Nuten zur Aufnahme von O-Ringen) in Vertiefungen der Innenleiterverbindungsstücke 4.

In den Innenleiterverbindungsstücken 4 sind Kammern 6 ausgebildet, die über Bohrungen wie 6.1 mit den Kanälen 5.1 in den Isolierstoffstützen 5 in Verbindung stehen. Die Innenleiterverbindungsstücke 4 haben einen ersten Flansch 4.1, der von dem jeweiligen Ende des Innenleiterrohrs 3 übergriffen wird. Mit diesem Flansch 4.1 ist das betreffende Ende des Innenleiterrohrs 3 vorzugsweise durchgehend über eine Umfangsnaht verschweißt. Alternativ kann zwischen dem Umfang des Flansches 4.1 und dem Ende des Innenleiterrohrs 3 ein O-Ring vorgesehen sein (nicht dargestellt).

Dann ist zusätzlich eine HF-technisch einwandfreie Kontaktierung zwischen dem Flansch 4.1 und dem Innenleiterrohr 3 notwendig. Axial beabstandet von dem ersten Flansch 4.1 haben die Innenleiterverbindungsstücke 4 einen zweiten Flansch 4.2 kleineren Durchmessers. Dieser wird von dem jeweiligen Ende eines koaxial in dem Innenleiterrohr 3 angeordneten Rohres 7 kleineren Durchmessers übergriffen. Dieses Rohr 7 liegt nicht im felderfüllten Raum und muss daher nicht aus Metall bestehen. Der koaxiale Ringraum 8 zwischen dem rohrförmigen Innenleiter 3 und dem Rohr 7 kommuniziert über Bohrungen 6.3 Durchbrüche 6.2 mit der Kammer 6 in dem jeweiligen Innenleiterverbindungsstück 4, siehe auch Fig. 2.

Über die herausgeführten Anschlüsse der Isolierstoffstützen 5 wird am einen Ende des Leitungsabschnitts ein vorzugsweise flüssiges Kühlmedium, z.B. Wasser, eingespeist, das dann den Ringraum 8 durchströmt und über die Isolierstoffstützen 5 am anderen Ende des Leitungsabschnitts abgezogen wird. Auf diese Weise werden der rohrförmige Innenleiter 3 und die Innenleiterverbindungsstücke 4 von innen gekühlt.

Auf ihrer von dem rohrförmigen Innenleiter 2 abgewandten Seite ist jede Kammer 6 durch eine Flanschplatte 10 bzw. 11, die mit dem Innenleiterverbindungsstück 4 über Schrauben 9 verbunden ist, abgeschlossen. Die Flanschplatte 10 an dem einen (in Fig. 1 linken) Ende des Leitungsabschnitts hat einen axial orientierten Ringbund 10.1 mit einem Innendurchmesser d_1 . Die Flanschplatte 11 an dem anderen (in Fig. 1 rechten) Ende des Leitungsabschnitts hat einen Ringbund 11.1 mit dem kleineren Außendurchmesser $d_2 < d_1$. Mit der Flanschplatte 11 ist ein Kontaktfederkranz 11.2 verbunden, der den Ringbund 11.1 koaxial umgibt. Die freien Enden der Kontaktfedern liegen in einer Radialebene, die von der Radialebene, die die Stirnfläche des Ringbundes

11.1 enthält, um einen Axialabstand a zurückgesetzt ist.

Fig. 3 veranschaulicht, dass beim Aneinandersetzen von zwei derartigen Leitungsabschnitten A und B der Ringbund 10.1 ein Steckerelement und der Ringbund 11.1 zusammen mit dem Kontaktfederkranz 11.2 ein Kupplerelement zur Realisierung der kontaktierenden Verbindung zwischen den rohrförmigen Innenleitern 3 der aneinander gesetzten Leitungsstücke A und B bildet. Zur querdichten, kontaktierenden Verbindung der Außenleiter 1 ist zwischen die Verbindungsflansche 2 der in Fig. 4 dargestellte Ring 20 aus einem gefiederten Blech eingefügt.

In Fig. 5 sind die Leitungsabschnitte A und B im miteinander verbundenen Zustand dargestellt. Die Außenleiterverbindungsflansche 2 sind wie üblich über Zuganker 21 miteinander verschraubt. Die Ringbunde 10.1 und 11.1 bilden zusammen dem Kontaktfederkranz 11.2 eine komplementäre Steckverbindung für die rohrförmigen Innenleiter. Damit auch im Bereich dieser Innenleitersteckverbindungen 10.1, 11.1, 11.2 eine ausreichende Kühlung sichergestellt ist, sind diese in axialer Richtung kurzbauend, aus gut wärmeleitenden Werkstoffen und in ausreichender Materialstärke hergestellt.

Richtungsänderungen im Verlauf der Leitung werden mittels Krümmern oder Leitungsbögen realisiert, die prinzipiell den gleichen Aufbau wie die geraden Leitungsabschnitte in Fig. 1 haben. In Fig. 6 ist ein 90°-Bogen dargestellt. Zur Erzielung eines weiteren Freiheitsgrades sind in diesem Fall die Außenleiterverbindungsflansche 2 zusätzlich, in an sich bekannter Weise mit Kugellagern 21 ausgestattet. An der Innenleitersteckverbindung sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich, weil das Steckerteil (10.1) und das Kupplerteil (11.1, 11.2) relativ zueinander beliebig verdrehbar sind.

Wenn der felderfüllte Raum zwischen dem Außenleiter und dem Innenleiter im Betrieb der Leitung mit Gas, z.B. N_2 , bedrückt werden soll oder muss, sind an bestimmten Stellen der Leitung längsdichte Verbindungen notwendig. Dann werden
 5 statt der rohrförmigen Isolierstoffstützen Vollscheiben 57 aus Keramik verwendet, wie in Fig. 7 dargestellt. Diese haben eine ausreichende Anzahl von radialen Kanälen 57.1 zur Ein- oder Ausleitung des Kühlmediums. Die Kanäle 57.1 kommunizieren am Außenumfang mit einem Ringkanal 57.2 und
 10 am Innenumfang mit einem Ringkanal 6.4 der über die Bohrungen 6.3 mit der Kammer 6 in dem Innenleiterverbindungsstück 4 kommuniziert.

Im Betrieb der Leitung dehnt sich deren Innenleiter trotz
 15 Kühlung stärker als der Außenleiter. Eine erste Möglichkeit, diese Dehnung, die in Fig. 1 symbolisch mit $\Delta 1$ bezeichnet ist, aufzufangen, besteht darin, die Isolierstoffstützen 5 schwimmend durch die Wandung des Außenleiters hindurchzuführen. Fig. 8 zeigt eine solche, abgedichtete
 20 und HF-dichte Durchführung. Die rohrförmige Isolierstoffstütze 5 ist mit einem axialen Spiel $\Delta 2$ abgedichtet über einen O-Ring 52 in einer Führungshülse 51 aufgenommen, die mit einem Fußflansch 53 in einer Ausnehmung 2.1 in der Wandung des Außenleiterverbindungsflansches 2 sitzt. Die Dicke
 25 des Fußflansches 53 ist etwas kleiner als die Tiefe der Ausnehmung. In einer Nut des Fußflansches 53 ist ein sog. Wurmkontakt 54 aufgenommen, der in radialer Richtung elastisch ist. Der Wurmkontakt wird seinerseits von einem O-Ring 55 umschlossen. Es verbleibt ein Spalt $\Delta 3$. Der
 30 Fußflansch 53 der Führungshülse 51 ist mittels einer Druckplatte 56 in der Ausnehmung 2.1 gesichert. Senkrecht zur Zeichenebene, d.h. in Längsrichtung der Leitung, ist die Ausnehmung 2.1 langlochartig ausgebildet, so dass die Isolierstoffstütze 5 einschließlich der Führungshülse 51
 35 wärmebedingten Längenänderungen $\Delta 1$ des rohrförmigen Innenleiters 3 relativ zum Außenleiter 1 folgen kann und keine

Zwangskräfte auftreten. Gleichzeitig läßt diese Art der Durchführung auch wärmebedingte Längenänderungen der Isolierstoffstütze 5 in radialer Richtung zu.

5 Eine andere und einfachere Möglichkeit, das Auftreten von Zwangskräften durch wärmebedingte Längenänderungen des Innenleiters relativ zum Außenleiter zu verhindern, veranschaulichen die Fig. 9 und 10. Die Isolierstoffstütze 5 ist im Innenleiterverbindungsstück 4 und in der Führungshülse 51 schwenkbar aufgenommen, und zwar entweder durch kugelkalottenförmige Ausbildung ihrer beiden Enden in Verbindung mit ausreichend groß dimensionierten Ausnehmungen im Innenleiterverbindungsstück 4 und in der Wandung des Außenleiterverbindungsflansches 2 (Fig. 9) oder, komplementär hierzu, durch Ausbildung entsprechender Ringwulste in den Aufnahmen der Enden der Isolierstoffstütze 5 einerseits in dem Innenleiterverbindungsstück 4 und andererseits in der Führungshülse 51 (Fig. 10). In beiden Fällen kann die Isolierstoffhülse um kleine Winkel α um den Punkt M kippen.

20 Bei den bisher beschriebenen Ausführungsformen wird der relativ dünne, rohrförmige Innenleiter 3 durch ein Kühlmedium gekühlt, das durch den mittels des Rohres 7 kleineren Durchmessers geschaffenen Ringraum 8 strömt (vgl. Fig. 1). Alternativ hierzu kann der Innenleiter als dickwandiges Rohr 30 mit zahlreichen, eng benachbarten, axialen Kanälen 31 ausgeführt sein. Fig. 11 zeigt den entsprechenden Querschnitt. Insbesondere aus Aluminum können solche Rohre sehr einfach im Strangpressverfahren hergestellt werden.

In Figur 12 ist eine gegenüber Fig. 1 abgewandelte Ausführungsform dargestellt. Das von dem rohrförmigen Innenleiter 3 umschlossene Rohr 7 ist an seinen beiden Enden durch Flansche 71 verschlossen, von denen jeder einen zentralen Lagerzapfen 71.1 hat, mit dem er in einer Ausnehmung 41.1

in dem Innenleiterverbindungsstück 41 mit Spiel insbesondere in axialer aber auch in radialer Richtung sitzt. Das radiale Spiel ist der Deutlichkeit halber übertrieben groß gezeichnet. Das Rohr 7 ist somit zwischen den Innenleiter-
5 verbindungsstücken 41 schwimmend gelagert. Der Raum 8 zwischen dem rohrförmigen Innenleiter 3 und dem Rohr 7 kommuniziert mit der jeweiligen Kammer 6 in dem Innenleiterverbindungsstück 41 über Ausnehmungen 71.2 (vgl. Fig. 13) in dem Zapfen 71.1 und den sich in radialer Richtung an-
10 schließenden Umfangsspalt zwischen dem jeweiligen Flansch 71 und der diesem zugewandten Stirnfläche des Innenleiterverbindungsstücks 41. Damit der Querschnitt des Ringraums 8 über den Umfang konstant bleibt, sind zwischen dem Rohr 7 und dem rohrförmigen Innenleiter 3 Abstandsstücke oder
15 Zentrierelemente 72 angeordnet. Diese können in der in Fig. 12 angedeuteten Weise das Rohr 7 wendelförmig umgeben. Dann verläuft die Strömung des Kühlmediums in dem Raum 8 ebenfalls wendel- oder schraubenförmig. Wenn dies vermieden werden soll, sind die Zentrierelemente 72 nicht durchgehend
20 sondern nur in Form kurzer Abschnitte angeordnet. Stattdessen können die Zentrierelemente auch aus axial verlaufenden Stegen 72.1 bestehen, wie in Fig. 13 angedeutet, damit die Strömung des Kühlmediums axial gerichtet bleibt.

25

30

35

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Koaxialleitung mit einem rohrförmigen Innenleiter (3),
5 einem Außenleiter (1), Isolierstoffstützen (5) zwischen dem Innenleiter und dem Außenleiter und Anschlüssen zum Hindurchleiten eines Kühlmediums durch die Leitung, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kühlmedium durch den Innenleiter (3) hindurchleitbar ist.
10
2. Koaxialleitung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlmedium über in mindestens einigen der Isolierstoffstützen (5) ausgebildete Kanäle (5.1) zu- und abführbar ist.
15
3. Koaxialleitung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierstoffstützen als durch den Außenleiter (1) hindurch nach außen geführte Rohre (5) ausgebildet sind.
20
4. Koaxialleitung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierstoffstützen als Vollscheiben (57) mit radialen Kanälen (57.1) ausgebildet sind.
25
5. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (5.1; 57.1) der Isolierstoffstützen (5; 57) in eine Kammer (6) in einem Innenleiterverbindungsstück (4) am Ende des rohrförmigen Innenleiters (3) münden.
30
6. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in dem rohrförmigen Innenleiter (3) ein an seinen beiden Enden stirnseitig verschlossenes Rohr (7) kleineren Durchmessers koaxial
35 angeordnet ist und dass der Ringraum (8) zwischen diesem Rohr (7) und dem rohrförmigen Innenleiter (3) mit

den Kanälen (5.1; 57.1) in den Isolierstoffstützen (5; 57) kommuniziert.

- 5 7. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr (7) stirnseitig durch einen an dem Innenleiterverbindungsstück (4) ausgebildeten Flansch (4.2) verschlossen ist.
- 10 8. Koaxialleitung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr (7) stirnseitig über Flansche (71) verschlossen ist, die an dem jeweiligen Innenleiterverbindungsstück axial und radial schwimmend (41.1, 71.1) gelagert sind.
- 15 9. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohr (7) an seinem Ausenumfang sich gegen die Innenwand des rohrförmigen Innenleiters (3) abstützende Zentrierelemente (72) hat.
- 20 10. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentrierelemente (72) längs einer Wendel (schraubenförmig) um das Rohr (7) angeordnet sind.
- 25 11. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentrierelemente aus axial verlaufenden Stegen (72.1) bestehen.
- 30 12. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentrierelemente mit dem Rohr (7) einstückig sind.
- 35 13. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der rohrförmige Innenleiter (30) in seinem Mantel axiale Kanäle (31) hat, die mit

den Kanälen in den Isolierstoffstützen kommunizieren.

14. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus getrennt voneinander kühlbaren, elektrisch und mechanisch miteinander verbundenen Abschnitten (A, B) besteht.
15. Koaxialleitung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die rohrförmigen Innenleiter (3, 30) aneinandergrenzender Abschnitte (A, B) der Leitung über komplementäre Steckverbindungen miteinander verbindbar sind.
16. Koaxialleitung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die komplementäre Steckverbindung aus einer die Kammer (6) des Innenleiterverbindungsstücks (4) abschließenden Flanschplatte (10) mit einem sich axial erstreckenden ersten Ringbund (10.1) besteht, der einen zweiten Ringbund (11.1) an der Flanschplatte (11) des anschließenden Leitungsabschnitts übergreift und seinerseits von einem Kranz (11.2) sich axial erstreckender Kontaktfedern kontaktierend übergriffen wird, der den zweiten Ringbund (11.1) konzentrisch umgibt.
17. Koaxialleitung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die freien Enden der Kontaktfedern des Kontaktfedernkranzes (11.2) in einer radialen Ebene liegen, die gegenüber der die Stirnfläche des zweiten Ringbundes (11.1) enthaltenden, radialen Ebene axial zurückgesetzt ist.
18. Koaxialleitung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Flanschplatten (10, 11) mit dem Innenleiterverbindungsstück (4) verschraubt sind.
19. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, da-

durch gekennzeichnet, dass die Isolierstoffstützen (5) in axialer Richtung schwimmend durch den Außenleiter (1) hindurchgeführt sind.

- 5 20. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das durch den Außenleiter (1) hindurchgeführte Ende jeder Isolierstoffstütze (5) von einem Führungsflansch (51) umschlossen ist, der in axialer Richtung schwimmend in einer Ausnehmung des Außenleiters gehalten, gegenüber diesem radialelastisch abgedichtet und mit ihm radialelastisch kontaktiert ist.
- 10
21. Koaxialleitung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass jede der rohrförmigen Isolierstoffstützen (5) mit ihrem innenliegenden Ende in dem Innenleiterverbindungsstück (4) und mit ihrem außenliegenden Ende in der Außenleiterwandung (1) in einer axialen Ebene verkipppbar gelagert ist.
- 15

20

Z u s a m m e n f a s s u n g

5

Koaxialleitung mit Zwangskühlung

10 Eine Koaxialleitung, über die durch verbesserte Kühlung HF-
Leistungen von mehr als 1 MW auch im Dauerbetrieb übertra-
gen werden können umfasst einen Innenleiter (3), durch den
das Kühlmedium hindurchleitbar ist. Das Kühlmedium kann
über hohle Isolierstoffstützen (5) zu- und abgeführt wer-
den. Insbesondere bei Verwendung eines flüssigen Kühlme-
15 diums wird eine erhebliche Gewichtseinsparung praktisch
ohne Verringerung der Effizienz der Kühlung erreicht, wenn
in dem Innenleiter (3) ein Rohr (7) kleineren Durchmessers
angeordnet ist und das Kühlmedium nur durch den Ringraum
(8) zwischen diesem Rohr (7) und dem Innenleiter (3)
20 strömt.

(Figur 1)